

Д. С. Асанова, А. С. Васильев*, Н. Н. Озерец, В. В. Березовская

Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*timoshka_94@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИМПЛАНТАЦИИ АЗОТА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА АУСТЕНИТНЫХ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ

Изучали влияние имплантации ионов азота в поверхность аустенитных коррозионно-стойких сталей для повышения их функциональных свойств. Исследовали четыре марки аустенитных коррозионно-стойких сталей 02Х16Н10М2, 08Х15АГ10Д2, 06Х15АГ9НМ2 и 09Х15АГ9НД2 после холодной пластической деформации и отжига 680 °С в воде и последующей имплантации ионами N⁺ с разной дозой облучения — 0,01 и 0,1 %. Установлено, что облучение ионами азота аустенитных коррозионно-стойких сталей можно считать эффективным способом для повышения твердости, а также условного предела текучести при эксплуатации сталей в коррозионной среде.

Ключевые слова: сталь, аустенит, имплантация азота, твердость, коррозионная стойкость.

D. S. Asanova, A. S. Vasilyev, N. N. Ozerets, V. V. Berezovskaya

INFLUENCE OF NITROGEN DOPING ON STRUCTURE AND PROPERTIES OF AUSTENITIC CORROSION-RESISTANT STEELS

Work is devoted to studying the effect of implantation of nitrogen ions into the surface of austenitic stainless steels to improve their functional properties. Four grades of austenitic corrosion-resistant steels 02H16N10M2, 08H15AG10D2, 06H15AG9NM2 and 09H15AG9ND2 were taken after cold plastic deformation and annealing from 680 °C in water and subsequent implantation with N⁺ ions with different radiation dose: 0,01 and 0,1 %. It was found that irradiation of austenitic stainless steels with nitrogen ions can be considered an effective way to increase the hardness and yield strength of steels in the operation in a corrosive environment.

Key words: steel, austenite, nitrogen implantation, hardness, corrosion resistance.

Развитие техники предъявляет к сталям в различных сферах применения требования повышенной прочности и экономичности. В течение последних 20—30 лет существенное внимание в нашей стране и за рубежом уделяется проблеме ионной модификации поверхностей конструкционных материалов. По сравнению с традиционными методами химико-термической обработки ионная имплантация позволяет

в десятки раз сократить время и резко понизить температуру обработки, а также повысить защитные и прочностные свойства изделий [1–4].

Целью данной работы является исследование возможных механизмов структурообразования, фазового состава, физико-механических и служебных свойств сталей аустенитного класса разного состава после бомбардировки ионами азота N^+ . Исследовали четыре марки коррозионно-стойких сталей (02X16H10M2, 08X15AG10D2, 06X15AG9HM2 и 09X15AG9HD2). Образцы для исследования были вырезаны из тонкого (1 мм) листа, полученного холодной прокаткой с последующим отжигом 680 °С и имплантацией ионами N^+ с разной дозой облучения. После облучения образцы подвергали рекристаллизационному отжигу при температуре 300 °С в течение 1 ч.

Для решения поставленной цели была использована установка ионной имплантации по двустороннему облучению образцов пучком газовых ионов с энергией до 40 кэВ. Механические испытания образцов на одноосное растяжение проводили согласно ГОСТ 11701–84 с использованием машины TiniusOlsenH50KS. Результаты испытаний приведены в табл. 1. Микроструктуру стали исследовали на металлографическом инвертированном цифровом комплексе Axio Zoom.V16 производства Carl Zeiss с использованием программы анализа изображения SIAM 700. Твердость определяли на приборе Виккерса при нагрузке 0,049 кН. Рентгеноструктурный метод применяли для определения фазового состава сталей и параметров кристаллической решетки. Съемку проводили на рентгеновском дифрактометре XRD-7000. По результатам рентгеноструктурного исследования структура сталей до облучения в пределах точности метода состояла только из аустенита.

Таблица 1

Механические свойства сталей

Номер образца	Марка стали	Режим облучения	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %	φ , %
2	02X16H10M2	—	220	580	31	40
		1	280	650	21	30
		2	280	640	37	42
5	08X15AG10D2	—	520	1050	39	40
		1	450	840	22	23
		2	470	1130	46	25
6	06X15AG9HM2	—	370	870	43	42
		1	330	730	27	27
		2	360	930	49	41
15	09X15HAG9D2	—	510	970	37	40
		1	490	880	23	24
		2	460	980	48	41

Из табл. 1 можно сделать вывод, что самую низкую прочность и пластичность имеет сталь 02X16H10M2, в которой содержание азота значительно ниже, чем в остальных сталях. Наиболее высокие свойства показали стали 08X15AG10D2 и 09X15HAG9D2, в которых помимо азота содержится медь.

Микроструктура сталей в исходном состоянии представляла собой мелкозернистый двойникованный аустенит.

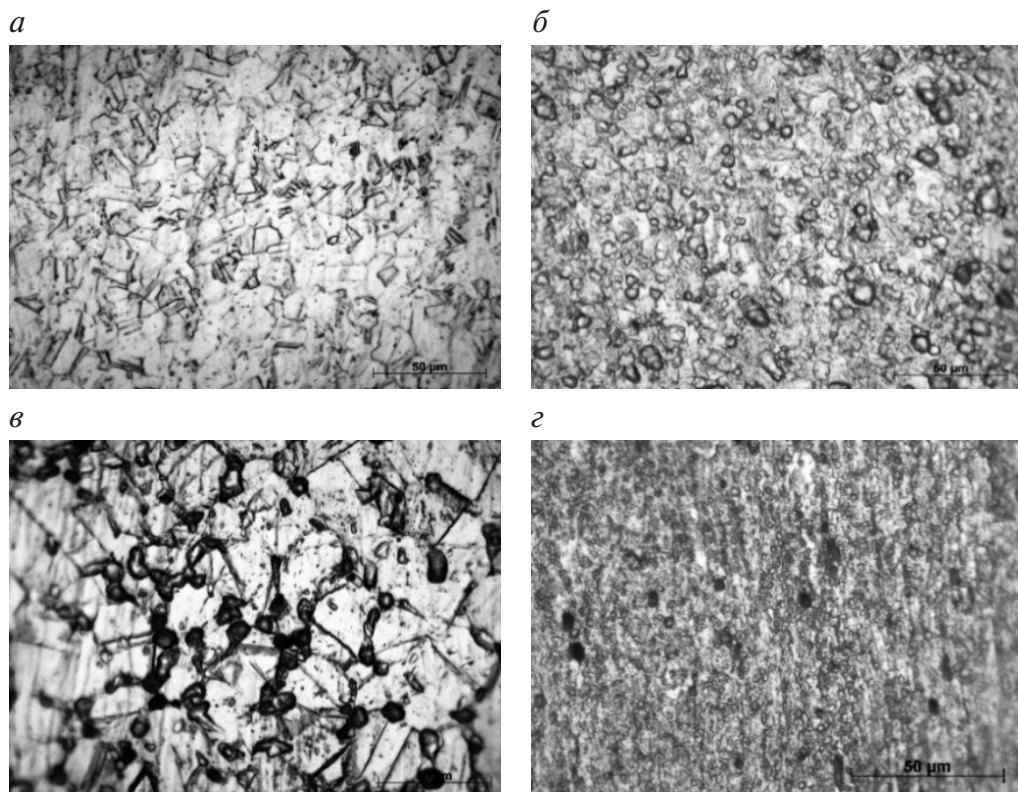


Рис. 1. Микроструктура сталей после облучения согласно режиму 1:

а — сталь № 2; *б* — сталь № 5; *в* — сталь № 6; *г* — сталь № 15

После облучения согласно режиму 1 и рекристаллизации произошло некоторое измельчение зерна аустенита в микроструктуре всех исследованных сталей. Под действием облучения (рис. 1, *а*, *б*) структура сталей 02X16H10M2 и 08X15AG10D2 так же мало изменилась, как и аустенитная структура с ультрадисперсным зерном (2–4 мкм) в стали 09X15AG9HД2 (рис. 1, *г*). В стали 06X15AG9HМ2 наблюдался аустенит с двойниками отжига, но с более крупным зерном.

Дальнейшее измельчение зерна аустенита после бомбардировки ионами азота согласно режиму 2 не наблюдалось (рис. 2).

Во всех образцах после облучения наблюдалось увеличение прочности без существенного изменения пластичности, а также твердости, что связано с увеличением плотности дефектов и появлением мартенсита деформации (рис. 3).

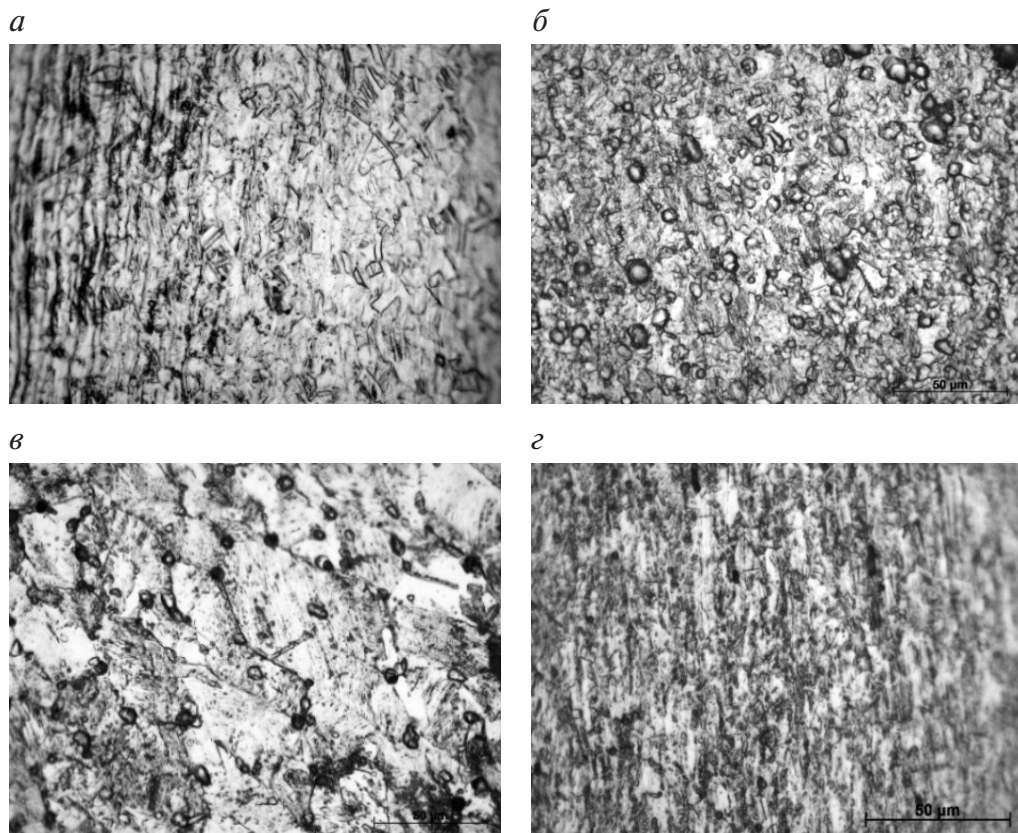


Рис. 2. Микроструктура сталей после облучения согласно режиму 2:
а — сталь № 2; б — сталь № 5; в — сталь № 6; г — сталь № 15

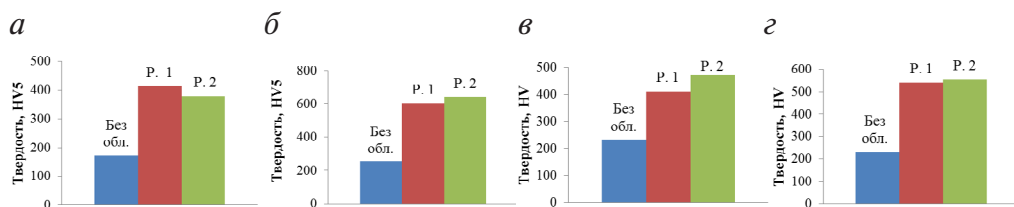


Рис. 3. Твердость сталей до и после облучения:
а — сталь № 2; б — сталь № 5; в — сталь № 6; г — сталь № 15

Выводы

В исследованных сталях после ионной имплантации наблюдается повышение механических характеристик сплава: HV в среднем в 1,5—

2 раза, σ_B на 50–60 %. Повышение HV и σ_B происходит за счет повышения концентрации дефектов в структуре сплава.

Предел текучести $\sigma_{0,2}$ исследованных сталей при имплантации ионов N^+ повышается в среднем на 10–20 %. Его повышение зависит от режима имплантации и степени деформационного старения сталей, например, в результате выделения меди, как в образцах 5 и 15.

Размер зерна аустенита после имплантации, которая сопровождается нагревом до 70–250 °С, во всех сталях уменьшается за счет дробления зерен при повышении плотности дислокаций.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Калин Б. А. Радиационно-пучковые технологии обработки конструкционных материалов // Физика и химия обработки материалов. 2001. № 4. С. 5–16.
- 2 Гончаров В. В. Микротвердость поверхности нержавеющей стали, модифицированной ионной имплантацией // Проблемы машиностроения. 2013. Т. 16, № 6. С. 47–51.
- 3 Будзински П., Полянски К., Кобзев А. П. Изменение свойств поверхности нержавеющей стали марки AISI316L, имплантированной азотом // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2008. № 8. С. 80–85.
- 4 Повышение износостойкости стали 30ХГСН2 А имплантацией ионов азота и ионов металла / А. А. Ярных [и др.] // Материаловедение. 2014. № 11. С. 30–34.